

Влияние ортодонтических адгезивов, модифицированных антибактериальными наночастицами, на прочность сцепления: обзор литературы

Х. Алмокаддам , Н.С. Тутуров , И. Катбех , А. Салех , И. Ибрахим

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Российская Федерация

✉ Hayanalmokaddam5@gmail.com

Резюме

ВВЕДЕНИЕ. С появлением нанотехнологий создаются новые стоматологические изделия с добавлением различных наночастиц для улучшения качества материала, а также увеличения их долговечности и антибактериальной терапии. В последнее время наночастицы серебра, гидроксиапатита кальция, диоксида кальция, магния, корицы и ванилина включаются в ортодонтические адгезивы для предотвращения деминерализации эмали во время лечения несъемной аппаратурой. Однако, прочность фиксации брекет-системы к эмали зуба играет важную роль в противостоянии ортодонтическим и механическим воздействиям в полости рта для достижения точного контроля перемещения зубов.

ЦЕЛЬ. Целью этого исследования является аналитический обзор лабораторных исследований на силу сцепления при сдвиге ортодонтических адгезивов, модифицированных антибактериальными наночастицами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В базах данных eLibrary, PubMed и Google Scholar был выполнен запрос научных статей, опубликованных с 2019 по 2024 г., с использованием ключевых слов: nanoparticles, orthodontics, bond strength, orthodontic adhesive, nanoadhesive. Таким образом, в данную статью было включено 13 исследовательских работ in vitro по теме прочности сцепления на сдвиг наноадгезивов, остальные 40 научных статей были посвящены изучению методов применения нанотехнологий в ортодонтической клинике, свойству различных наночастиц и проблемам деминерализации зубной ткани в период коррекции зубочелюстных аномалий, их профилактике.

ВЫВОД. На основе данного анализа было выявлено, что большинство результатов лабораторных исследований ортодонтических адгезивов, содержащих наночастицы в низких концентрациях, продемонстрировали положительный антимикробный потенциал при сохранении приемлемой силы адгезивного сцепления. При этом необходимы дальнейшие исследования в клинических условиях, учитывая влажность и изменения температуры в полости рта, для достижения наилучших механических характеристик и антибактериальной эффективности в отношении патогенов, образующих биопленки во время ортодонтической терапии.

Ключевые слова: наночастицы, ортодонтический адгезив, сила сцепления, антибактериальная эффективность, деминерализация эмали, ортодонтия

Информация о статье: поступила – 20.03.2024; исправлена – 01.06.2024; принята – 04.06.2024

Конфликт интересов: Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: Финансирование и индивидуальные благодарности для декларирования отсутствуют.

Для цитирования: Алмокаддам Х., Тутуров Н.С., Катбех И., Салех А. Влияние ортодонтических адгезивов, модифицированных антибактериальными наночастицами, на прочность сцепления: обзор литературы. *Эндодонтия Today*. 2024;22(2):130–136. <https://doi.org/10.36377/ET-0027>

Effect of orthodontic adhesives modified with antibacterial nanoparticles on bond strength: literature review

Hayan Almokaddam , Nikolay S. Tuturov , Imad Katbeh , Ahmad Saleh , Ibrahim Ibrahim

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation

✉ Hayanalmokaddam5@gmail.com

Abstract

RELEVANCE. With the advent of nanotechnology, new dental products are being created with the addition of various nanoparticles to improve the quality of the material, as well as increase their durability and antibacterial therapy. Recently, nanoparticles of silver, calcium hydroxyapatite, calcium dioxide, magnesium, cinnamon and vanillin are included in orthodontic adhesives to prevent enamel demineralization during fixed appliance treatment. However, the strength of fixation of the bracket system to the tooth enamel plays an important role in resisting orthodontic and mechanical stress in the oral cavity to achieve precise control of tooth movement. **AIM.** The purpose of this study is to provide an analytical review of laboratory studies on the shear bond strength of orthodontic adhesives modified with antibacterial nanoparticles.

MATERIALS AND METHODS. The eLibrary, PubMed and Google Scholar databases were queried for scientific articles published from 2019 to 2024 using the keywords: nanoparticles, orthodontics, bond strength,

orthodontic adhesive, nanoadhesive. Thus, this article included 13 *in vitro* studies on the topic of shear adhesion strength of nanoadhesives, the remaining 40 scientific articles were devoted to the study of methods of using nanotechnologies in the orthodontic clinic, the properties of various nanoparticles and the problems of demineralization of dental tissue during the correction of dentoalveolar anomalies, their prevention.

CONCLUSION. Based on this analysis, it was found that most laboratory studies of orthodontic adhesives containing low concentrations of nanoparticles demonstrated positive antimicrobial potential while maintaining acceptable adhesive bond strength. However, further studies are needed in clinical settings, taking into account humidity and temperature changes in the oral cavity, to achieve the best mechanical performance and antibacterial effectiveness against biofilm-forming pathogens during orthodontic therapy.

Keywords: nanoparticles, orthodontic adhesive, adhesion strength, antibacterial effectiveness, enamel demineralization, orthodontics

Article info: received – 20.03.2024; revised – 01.06.2024; accepted – 04.06.2024

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests.

Acknowledgments: There are no funding and individual acknowledgments to declare.

For citation: Almokaddam H., Tuturov N.S., Katbeh I., Saleh A., Ibrahim I. Effect of orthodontic adhesives modified with antibacterial nanoparticles on bond strength: literature review. *Endodontics Today*. 2024;22(2):130–136. (In Russ.) <https://doi.org/10.36377/ET-0027>

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время нанотехнологии широко используются в клинической стоматологии, благодаря своей способности улучшать свойства материалов, включая антимикробные характеристики. Нанотехнологии нашли применение и в различных аспектах ортодонтии [1]. Антибактериальные наночастицы включают в ортодонтические адгезивы, праймеры, эластомерные материалы, также служат для покрытия поверхностей брекетов, дуг и мини-винтов [2]. Уделяется все больше внимания созданию новых наноматериалов с памятью формы, обеспечивающие низкую утечку ионов, брекетов, предотвращающих образование кариеса и лигатур для повышения их износостойкости [3].

Целью включения наночастиц в ортодонтические адгезивы является подавление кариесогенных бактерий и уменьшение декальцинации вокруг брекетов. Исследования показали, что декальцинирование поверхностей зубов происходит примерно у 50–75% пациентов [4], зачастую на стыке брекет-системы и поверхности зуба во время ортодонтического лечения несъемной аппаратурой [5; 6]. Сложная форма несъемных ортодонтических конструкций затрудняет поддержание чистоты зубов, что может привести к накоплению зубного налета [7], а также вызвать изменения в качественном и количественном профиле микробной флоры и, следовательно, увеличить риск образования белых пятен и кариеса зубов [8; 9]. Известно, что основными штаммами бактерий, ответственными за появление белых пятен, являются *Streptococcus mutans* и *Lactobacillus ssp.* [10].

S. mutans считается наиболее распространенной формой бактерий при традиционной ортодонтической терапии. Эти бактерии являются быстрым продуцентом кислоты, полученной в результате углеводного обмена, и способны изменять pH среды от 7 до pH 4,2 примерно за 24 часа, что приводит к деминерализации зубной эмали [11; 12].

Для контроля и профилактики кариеса зубов были разработаны фторсодержащие средства, ограничивающие рост бактерий *S. mutans*. Применение фторсодержащих препаратов способствует поступлению ионов фтора к поверхности эмали и позволяет обра-

зоваться устойчивому к действию кислот фтороплатиту. Источниками ионов фтора являются гели, лаки, зубные пасты и ополаскиватели для полости рта на основе фторида натрия в различных концентрациях. Однако эффективность этих средств, в основном зависит от участия пациента [13; 14]. В решении этого вопроса исследователи сосредоточились на методах, не требующих сотрудничества пациента, таких как добавление антимикробных агентов в ортодонтические адгезивы [15; 16].

Предпринимались многочисленные попытки включить в состав ортодонтического адгезива антибактериальные агенты (хлоргексидин, фторид, гидроксид кальция), чтобы избежать деминерализации на границе брекетов с эмалью. Большинство из этих материалов оказывают кратковременное противомикробное действие и со временем ослабляют механические свойства адгезии [17].

В процессе лечения ортодонтическая конструкция подвергается воздействию сил сдвига, растяжения и кручения внутри полости рта. Следовательно, прочность сцепления брекетов должна быть достаточной, чтобы выдерживать жевательные и ортодонтические силы, и в то же время достаточно безопасное, чтобы избежать повреждения поверхности эмали после завершения лечения [18]. Согласно Рейнольдсу [19] минимальная прочность адгезивного соединения, способной выдерживать воздействие жевательных усилий, должна находиться в диапазоне от 5,9 до 7,8 МПа, при этом чрезмерная сила адгезии (более 40–50 МПа) увеличивает риск повреждения эмали во время снятия брекетов [20].

Другим способом предотвращения деминерализации, который недавно привлек внимание исследователей, является добавление реминерализующих наночастиц в состав ортодонтических композиций.

ЦЕЛЬ

Целью данной научной работы является аналитический обзор лабораторных исследований на силу сцепления при сдвиге ортодонтических адгезивов, модифицированных антибактериальными наночастицами.

СТРАТЕГИЯ ПОИСКА

В базах данных eLibrary, PubMed и Google Scholar был выполнен запрос научных статей, опубликованных с 2019 по 2024 г., с использованием ключевых слов: nanoparticles, orthodontics, bond strength, orthodontic adhesive, nanoadhesive. Таким образом, в данную статью было включено 13 исследовательских работ *in vitro* по теме прочности сцепления на сдвиг наноадгезивов, остальные 40 научных статей были посвящены изучению методов применения нанотехнологий в ортодонтической клинике, свойству различных наночастиц и проблемам деминерализации зубной ткани в период коррекции зубочелюстных аномалий, их профилактики.

НАНОМАТЕРИАЛЫ В ОРТОДОНТИЧЕСКОМ АДГЕЗИВЕ

Целью нанотехнологий в стоматологии является имитация естественной архитектуры тканей, как мягких, так и твердых, путем адаптации новых стоматологических биоматериалов для достижения лучшего восстановления утраченных тканей, возникающих в результате заболевания, и обеспечения антимикробной активности там, где это необходимо [21]. Наноматериалы обычно представляют собой твердые частицы в наноразмерных масштабах от 1 до 100 нм, что примерно равно размеру двух-трех атомов. Благодаря своему небольшому размеру наночастицы проникают в клеточную стенку бактерий и оказывают широкий спектр антибактериальной активности, тем самым подавляя образование биопленки, которая косвенно способствует уменьшению образования кариеса [22; 23].

Нанотехнологии могут сдерживать развитие кариеса двумя основными способами. Первый способ предполагает применение наноматериалов с антибактериальными свойствами, например, диоксид титана (TiO_2) и наночастицы оксида цинка (ZnO). Второй включает использование материалов, способных выделять фтор и кальций (фторид кальция и гидроксиапатит кальция) [24].

Установлено, что включение наночастиц в композитные смолы не только обладают специфическими химическими и биологическими свойствами, как антибактериальный эффект, но также могут влиять на их физические и механические характеристики [25].

Таким образом, множество исследований *in vitro* были посвящены изучению механических свойств ортодонтических адгезивов, модифицированных различными наночастицами.

НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА, ДИОКСИДА ТИТАНА И АМОРФНОГО ТРИКАЛЬЦИЙФОСФАТА

Среди различных наночастиц серебро было одним из самых популярных объектов исследования за последние десятилетия. Известно, что серебро (Ag) обладает антибактериальными, противогрибковыми и противовирусными свойствами. Активные формы кислорода образуются на поверхности наночастиц серебра за счет высвобождающихся свободных ионов, которые при определенных условиях могут индуцировать гибель микробных клеток [26].

Так, в работе Eslamian et al. добавление 0,3 % наночастиц серебра (50 нм) в ортодонтический адгезив Transbond XT поддерживало силу адгезии выше клинически рекомендованных значений со значительной антибактериальной активностью, которая не сильно изменилась через 30 дней [27].

Позже в исследовании Sánchez-Tito et al. обнаружили, что добавление в адгезив наночастиц серебра Ag в концентрациях 1, 0,5, 0,1 и 0,05 %, поддерживают минимальную прочность на сдвиг при одновременном повышении микротвердости и шероховатости поверхности [28].

Нанонаполнитель из диоксида титана (TiO_2) обладает антибактериальным эффектом, биосовместимостью и минимальной токсичностью. Эти частицы, помимо их антибактериального действия, были предложены в качестве укрепляющих наполнителей [29].

Согласно исследованию Mahendra et al. выявлено улучшение антибактериальной активности адгезивов Transbond XT с включенными наночастицами в концентрациях 1 % серебра (Ag) и 1 % диоксида титана (TiO_2) по сравнению с контрольным композитом и композитом, выделяющим фтор, при этом не влияя на силу адгезии [30].

Аналогичные результаты были получены Assery et al. и Farzanegan et al., где было установлено, что композит Transbond, содержащий 1 % наночастиц диоксида титана (TiO), не оказывает существенного влияния на адгезивное сцепление с удовлетворительным клиническим диапазоном [31; 32].

Аморфные наночастицы фосфата кальция также обладают свойствами умеренного снижения роста *Streptococcus mutans* и нейтрализации кислоты путем высвобождения ионов кальция и фосфата [33].

Zahra Tavakolinejad et al. оценили прочность сцепления на сдвиг ортодонтических адгезивов, содержащих 3 % наночастиц аморфного трикальцийфосфата и 0,3 % наночастиц серебра. Было выявлено, что наночастицы аморфного трикальцийфосфата и серебра не показали существенного изменения прочности связи при сдвиге по сравнению с контрольным композитом без наночастиц. Однако средняя прочность на сдвиг в композите, содержащем наночастицы серебра, была значительно ниже, чем в двух других группах [34].

НАНОЧАСТИЦЫ ОКСИДА МАГНИЯ MgO

Наночастицы оксида магния (MgO) привлекли интерес многих специалистов в области биоматериалов благодаря их экономичному производству прекурсоров и антимикробной активности в отношении различных видов грамположительных и грамотрицательных бактерий и вирусов. Кроме того, MgO также применяется для облегчения изжоги, болей в желудке, регенерации костей и ингибирования опухолей, а также для лечения рака, включая нанокрихирургию и гипертермию. Наночастицы MgO способны разрушать клеточную мембрану и продуцировать активные формы кислорода, что приводит к нарушению активности основных бактериальных ферментов. Высокий уровень pH этих наночастиц играет важную роль в отношении их антимикробной активности [35; 36].

Rangrazi et al. в своей работе отметили, что ортодонтический композит GC Ortho Connect, содержащий 1 % наночастиц MgO, может проявлять значительный антибактериальный эффект в отношении бактерий *S. mutans*, не оказывая какого-либо негативного воздействия на прочность сцепления на сдвиг [37].

НАНОЧАСТИЦЫ ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ

Гидроксиапатит является основным минералом в структуре зубов и костей, отвечая за высокие механические свойства этих тканей. Наночастицы гидроксиапатита кальция могут эффективно заполнять микропоры эмали за счет высвобождения неорганических ионов. Кроме того, наноразмерные частицы обладают оптимальным антибактериальным действием благодаря своей высокой растворимости и быстрому высвобождению ионов, а также способности продуцировать активные формы кислорода [38].

В исследовании Hasan были изучены оценка степени конверсии и прочность сцепления на сдвиг металлических брекетов к эмали 60 премоляров верхней челюсти. В процессе работы использовали адгезив Heliosit, модифицированный наночастицами гидроксиапатита кальция, полученный методом золь-геля, в концентрации 2 и 4 %. Степень превращения мономера для каждой тестируемой группы измеряли с помощью устройства инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье. Автор пришел к выводу, что адгезив, содержащий 2 % гидроксиапатита кальция улучшил как степень конверсии, так и прочность сцепления при сдвиге [39].

НАНОЧАСТИЦЫ ПРОПОЛИСА

Прополис (пчелиный клей) – вязкое органическое вещество, получаемое из пчелиного воска. Лабораторными исследованиями установлено, что прополис обладает антибактериальными, противовоспалительными, антиоксидантными, противовирусными, противогрибковыми, противоопухолевыми и гепатопротекторными свойствами. Он обладает активностью против *Streptococcus mutans*, факультативных анаэробов и грамположительных кокков в полости рта. Кроме того, многочисленные исследования показали, что способность прополиса уничтожать патогенные микроорганизмы пародонта может иметь важное клиническое значение [40].

Sodagar et al. изучали антимикробные свойства и прочность на сдвиг (SBS) металлических брекетов к эмали зубов крупного рогатого скота. В исследовании был применен ортодонтический композит Transbond XT, модифицированный наночастицами прополиса в концентрациях 1, 2, 5 и 10 %. В ходе работы авторы пришли к выводу, что нанопрополис в концентрациях 2 и 5 % эффективны против *S. mutans*, *S. sanguinis* и *L. acidophilus* и поддерживают адгезионную прочность в приемлемом клиническом диапазоне. Однако группа с 10%-ным содержанием прополиса имела значительно более низкий SBS, что не было рекомендовано для клинического применения [41].

НАНОЧАСТИЦЫ КОРИЦЫ И ВАНИЛИНА

На сегодняшний день растет интерес к натуральным продуктам растительного происхождения для лечения микробных инфекций [42]. На протяжении многих веков лекарственные растения, являясь источником биологически активных веществ, применялись для предотвращения различных заболеваний, в том числе и зубной боли.

Корица – одна из самых распространенных специй во всем мире, используемая не только для приготовления пищи, но и в традиционных и современных лекарствах. Коричный альдегид, находящийся в масле коры корицы может ингибировать активность декарбоксилазы аминокислот патогенных бактерий полости рта. Кроме того, масло коры корицы содержит циннамат, бензальдегид, бензойную и коричную кислоты, которые также обладают антимикробными свойствами [43].

В исследовании Yaseen et al. по включению в экспериментальный адгезив Heliosit наночастиц корицы в концентрациях 1, 3 и 5 % показали, что 3%-ное содержание нанопорошка оказывало антибактериальный эффект против *Streptococcus mutans* без снижения сдвиговой прочности [44].

Позже El-Awady et al. в своем исследовании отметили значительно возросшие антибактериальные эффекты обеих экспериментальных групп с 1 % диоксидом титана и 1 % корицы, без ущерба для прочности соединения в клинических целях [45].

Ваниль – самый популярный в мире ароматизатор, извлекаемый из стручков орхидеи *Vanilla planifolia* [46]. Ванилин и ванилиновая кислота обладают сильными антибактериальными свойствами, предотвращая образование биопленок и повышая вирулентность различных грамположительных и грамотрицательных патогенов, включая штаммы бактерий с множественной лекарственной устойчивостью [47; 48].

Впервые в работе Ahmed et al. были применены наночастицы ванилина в ортодонтическом адгезиве Transbond XT для изучения антимикробных и механических свойств. Это исследование показало, что введение наночастиц ванилина в концентрациях 1 и 2 % привело к значительному подавлению роста микроорганизмов *Streptococcus mutans*, при этом поддерживая прочность сцепления при сдвиге и растяжении в пределах приемлемых уровней [49].

НАНОЧАСТИЦЫ CALOTROPIS GIGANTEA

Продукты растительного происхождения становятся все более востребованными в медицинской практике. Лекарственные растения часто используются в синтезе наночастиц. Одним из таких растений является *Calotropis gigantea*. Согласно фитохимическому скринингу экстракт этого растения содержит биологически активные молекулы, такие как флавоноиды, алкалоиды, тритерпеноиды, стероиды, сапонины, фенолы и гликозиды [50; 51]. В исследовании Sharma et al. *Calotropis gigantea* продемонстрировал антимикробную активность в отношении *S. mutans* и лактобацилл [52].

Ravuru et al. оценили механические и антимикробные свойства ортодонтического адгезива с добавлением наночастиц *Calotropis gigantea* в кон-

центрациях 1, 5 и 10 %. В результате было замечено снижение прочности сцепления с увеличением концентрации наночастиц, при высоких антимикробных показателях [53].

ВЫВОД

Представленные в этом обзоре результаты исследовательских работ *in vitro* показывают, что ортодонтические адгезивы, модифицированные антибактериальными наночастицами, поддерживают прочность сцепления при сдвиге выше реко-

мендованных значений, за исключением адгезивов с 10%-ным содержанием наночастиц, которые сильно снижают уровень адгезионной прочности и не рекомендуется для клинического применения. При этом необходимы дальнейшие исследования в клинических условиях, учитывая влажность и изменения температуры в полости рта, для достижения наилучших механических характеристик и антибактериальной эффективности в отношении патогенов, образующих биопленки во время ортодонтической терапии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Zakrzewski W., Dobrzynski M., Dobrzynski W., Zawadzka-Knefel A., Janecki M., Kurek K. et al. Nanomaterials application in orthodontics. *Nanomaterials*. 2021;11(2):337. <https://doi.org/10.3390/nano11020337>
2. De Stefani A., Bruno G., Preo G., Gracco A. Application of nanotechnology in orthodontic materials: A state-of-the-art review. *Dent J*. 2020;8(4):126. <https://doi.org/10.3390/dj8040126>
3. Glowacka-Sobotta A., Ziental D., Czarczynska-Goslinska B., Michalak M., Wysocki M., Güzel E., Sobotta L. Nanotechnology for Dentistry: Prospects and Applications. *Nanomaterials*. 2023;13(14):2130. <https://doi.org/10.3390/nano13142130>
4. Mirhashemi A., Jazi L. Evaluation of the effect of antimicrobial nanoparticles on bond strength of orthodontic adhesives: A review article. *Dent Res J*. 2021;18(1):110. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.332104>
5. An J.-S., Lim B.-S., Ahn S.-J. Managing oral biofilms to avoid enamel demineralization during fixed orthodontic treatment. *Korean J Orthod*. 2023;53(6):345–357. <https://doi.org/10.4041/kjod23.184>
6. Katyal D., Mohan R., Jain R.K., Nagesh S. Evaluation of antimicrobial and mechanical properties of a novel propolis-modified orthodontic primer: An in-vitro study. *Cureus*. 2023;15(10):e46716. <https://doi.org/10.7759/cureus.46716>
7. Shimpo Y., Nomura Y., Sekiya T., Arai C., Okada A., Sogabe K. et al. Effects of the dental caries preventive procedure on the white spot lesions during orthodontic treatment – An open label randomized controlled trial. *J Clin Med*. 2022;11(3):854. <https://doi.org/10.3390/jcm11030854>
8. Kumar V., Singh P., Arora V.K., Kaur S., Sarin S., Singh H. Assessment of effect of fixed orthodontic treatment on gingival health: An observational study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2021;13(Suppl. 1):S425–S428. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_589_20
9. Rangrazi A., Daneshmand M.S., Ghazvini K., Shafaei H. Effects of magnesium oxide nanoparticles incorporation on shear bond strength and antibacterial activity of an orthodontic composite: An in vitro study. *Biomimetics*. 2022;7(3):133. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030133>
10. Khoroushi M., Kachuie M. Prevention and treatment of white spot lesions in orthodontic patients. *Contemp Clin Dent*. 2017;8(1):11–19. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_216_17
11. Jia A., Wang P., Tong F., Chen Z., Deng Y., Yao H. et al. Developing a novel enamel adhesive with amorphous calcium phosphate and silver nanoparticles to prevent demineralization during orthodontic treatment. *J Funct Biomater*. 2023;14(2):77. <https://doi.org/10.3390/jfb14020077>
12. Nafarrate-Valdez R.A., Martínez-Martínez R.E., Zaragoza-Contreras E.A., Áyala-Herrera J.L., Domínguez-Pérez R.A., Reyes-López S.Y. et al. Anti-adherence and antimicrobial activities of silver nanoparticles against serotypes C and K of *Streptococcus mutans* on orthodontic appliances. *Medicina*. 2022;58(7):877. <https://doi.org/10.3390/medicina58070877>
13. Taha A.A., Patel M.P., Hill R.G., Fleming P.S. The effect of bioactive glasses on enamel remineralization: A systematic review. *J Dent*. 2017;67:9–17. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.09.007>
14. Nahajowski M., Lis J., Sarul M. Orthodontic compliance assessment: A systematic review. *Int Dent J*. 2022;72(5):597–606. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2022.07.004>
15. Toodehzaeim M.H., Zandi H., Meshkani H., Hosseinzadeh Firouzabadi A. The Effect of CuO nanoparticles on antimicrobial effects and shear bond strength of orthodontic adhesives. *J Dent*. 2018;19(1):1–5.
16. Shahabi M., Fazel S.M., Rangrazi A. Incorporation of chitosan nanoparticles into a cold-cure orthodontic acrylic resin: Effects on mechanical properties. *Biomimetics*. 2021;6(1):7. <https://doi.org/10.3390/biomimetics6010007>
17. Chung S.-H., Cho S., Kim K., Lim B.-S., Ahn S.-J. Antimicrobial and physical characteristics of orthodontic primers containing antimicrobial agents. *Angle Orthod*. 2017;87(2):307–312. <https://doi.org/10.2319/052516-416.1>
18. Alzainal A.H., Majud A.S., Al-Ani A.M., Mageet A.O. Orthodontic bonding: Review of the literature. *Int J Dent*. 2020;(1):8874909. <https://doi.org/10.1155/2020/8874909>
19. Reynolds I.R. A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod*. 1975;2(3):171–178. <https://doi.org/10.1080/0301228X.1975.11743666>
20. Iglesias A., Flores T., Moyano J., Artés M., Gil F.J., Puigdollers A. In vitro study of shear bond strength in direct and indirect bonding with three types of adhesive systems. *Materials*. 2020;13(11):2644. <https://doi.org/10.3390/ma13112644>
21. Naguib G., Maghrabi A.A., Mira A.I., Mously H.A., Hajjaj M., Hamed M.T. Influence of inorganic nanoparticles on dental materials' mechanical properties. A narrative review. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):897. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03652-1>
22. Mary S.M., Ramakrishnan M., Sudalaimani Paulpandian S.D., Rajeshkumar S., Pringle J. Application of nanoparticles in dentistry. *Bioinformation*. 2023;19(1):14–18. <https://doi.org/10.6026/97320630019014>

23. Malik S., Waheed Y. Emerging Applications of nanotechnology in dentistry. *Dent J.* 2023;11(11):266. <https://doi.org/10.3390/dj11110266>
24. Scribante A., Farahani M.R.D., Marino G., Matera C., Baena R.R., Lanteri V., Butera A. Biomimetic effect of nano-hydroxyapatite in demineralized enamel before orthodontic bonding of brackets and attachments: Visual, adhesion strength, and hardness in in vitro tests. *BioMed Res. Int.* 2020;(1):6747498. <https://doi.org/10.1155/2020/6747498>
25. Raura N., Garg A., Arora A., Roma M. Nanoparticle technology and its implications in endodontics: A review. *Biomater Res.* 2020;24(1):21. <https://doi.org/10.1186/s40824-020-00198-z>
26. Yin I.X., Zhang J., Zhao I.S., Mei M.L., Li Q., Chu C.H. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *Int J Nanomedicine.* 2020;15:2555–2562. <https://doi.org/10.2147/IJN.S246764>
27. Eslamian L., Borzabadi-Farahani A., Karimi S., Saadat S., Badiie M.R. Evaluation of the shear bond strength and antibacterial activity of orthodontic adhesive containing silver nanoparticle, an in-vitro study. *Nanomaterials.* 2020;10(8):1466. <https://doi.org/10.3390/nano10081466>
28. Sánchez-Tito M., Tay L.Y. Effect of the addition of silver nanoparticles on the mechanical properties of an orthodontic adhesive. *Saudi Dent J.* 2024;36(2):359–363. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.11.021>
29. Felemban N.H., Ebrahim M.I. The influence of adding modified zirconium oxide-titanium dioxide nanoparticles on mechanical properties of orthodontic adhesive: an in vitro study. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):43. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0332-2>
30. Mahendra T.V.D., Muddada V., Gorantla S., Karri T., Mulakala V., Prasad R. et al. Evaluation of antibacterial properties and shear bond strength of orthodontic composites containing silver nanoparticles, titanium dioxide nanoparticles and fluoride: An in vitro study. *Dental Press J Orthod.* 2022;27(5):e222067. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.27.5.e222067.oar>
31. Assery M.K., Ajwa N., Alshamrani A., Alanazi B.J., Durgesh B.H., Matinlinna J.P. Titanium dioxide nanoparticles reinforced experimental resin composite for orthodontic bonding. *Mater Res Express.* 2019;6(12):125098. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab5a93>
32. Farzanegan F., Shafae H., Darroudi M., Rangrazi A. Effect of the incorporation of chitosan and TiO₂ nanoparticles on the shear bond strength of an orthodontic adhesive: An in vitro study. *J Adv Oral Res.* 2021;12(2):261–266. <https://doi.org/10.1177/23202068211015447>
33. Moreau J.L., Sun L., Chow L.C., Xu H.H.K. Mechanical and acid neutralizing properties and bacteria inhibition of amorphous calcium phosphate dental nanocomposite. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2011;98(1):80–88. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31834>
34. Tavakolinejad Z., Mohammadi Kamalabadi Y., Salehi A. Comparison of the shear bond strength of orthodontic composites containing silver and amorphous tricalcium phosphate nanoparticles: An ex vivo study. *J Dent.* 2023;24(3):285–292. <https://doi.org/10.30476/dentjods.2022.94075.1760>
35. Noori A.J., Kareem F.A. The effect of magnesium oxide nanoparticles on the antibacterial and antibiofilm properties of glass-ionomer cement. *Heliyon.* 2019;5(10):e02568. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02568>
36. Beyth N., Houri-Haddad Y., Domb A., Khan W., Hazan R. Alternative antimicrobial approach: Nano-antimicrobial materials. *Evid Based Complement Alternat Med* 2015;(1):246012. <https://doi.org/10.1155/2015/246012>
37. Rangrazi A., Daneshmand M.S., Ghazvini K., Shafae H. Effects of magnesium oxide nanoparticles incorporation on shear bond strength and antibacterial activity of an orthodontic composite: An in vitro study. *Biomimetics.* 2022;7(3):133. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030133>
38. Juntavee N., Juntavee A., Plongniras P. Remineralization potential of nano-hydroxyapatite on enamel and cementum surrounding margin of computer-aided design and computer-aided manufacturing ceramic restoration. *Int J Nanomedicine.* 2018;13:2755–2765. <https://doi.org/10.2147/IJN.S165080>
39. Hasan L.A. Evaluation the properties of orthodontic adhesive incorporated with nano-hydroxyapatite particles. *Saudi Dent J.* 2021;33(8):1190–1196. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2021.01.001>
40. Saeed M.A., Khabeer A., Faridi M.A., Makhdoom G. Effectiveness of propolis in maintaining oral health: a scoping review. *Can J Dent Hyg.* 2021;55(3):167–176.
41. Sodagar A., Akhavan A., Arab S., Bahador A., Pourhajibagher M., Soudi A. Evaluation of the effect of propolis nanoparticles on antimicrobial properties and shear bond strength of orthodontic composite bonded to bovine enamel. *Front Dent.* 2019;16(2):98–107. <https://doi.org/10.18502/fid.v16i2.1360>
42. Ahmad S.S., Siddiqui M.F., Maqbool F., Ullah I., Adnan F., Albutti A. et al. Combating cariogenic *Streptococcus mutans* biofilm formation and disruption with coumaric acid on dentin surface. *Molecules.* 2024;29(2):397. <https://doi.org/10.3390/molecules29020397>
43. Gandhi H.A., Srilatha K.T., Deshmukh S., Venkatesh M.P., Das T., Sharieff I. Comparison of antimicrobial efficacy of cinnamon bark oil incorporated and probiotic blend incorporated mucoadhesive patch against salivary *Streptococcus mutans* in caries active 7–10-year-old children: An in vivo study. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2020;13(5):543–550. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1818>
44. Yaseen S.N., Taqa A.A., Al-Khatib A.R. The effect of incorporation Nano Cinnamon powder on the shear bond of the orthodontic composite (an in vitro study). *J Oral Biol Craniofac Res.* 2020;10(2):128–134. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2020.03.008>
45. EL-Awady A.A., Al-Khalifa H.N., Mohamed R.E., Ali M.M., Abdallah K.F., Hosny M.M. et al. Shear bond strength and antibacterial efficacy of cinnamon and titanium dioxide nanoparticles incorporated experimental orthodontic adhesive – An in vitro comparative study. *Appl Sci.* 2023;13(10):6294. <https://doi.org/10.3390/app13106294>
46. Arya S.S., Rookes J.E., Cahill D.M., Lenka S.K. Vanillin: a review on the therapeutic prospects of a popular flavouring molecule. *Adv Tradit Med.* 2021;21:1–17. <https://doi.org/10.1007/s13596-020-00531-w>
47. Maisch N.A., Bereswill S., Heimesaat M.M. Antibacterial effects of vanilla ingredients provide novel treatment options for infections with multidrug-resistant bacteria – A recent literature review. *Eur J Microbiol Immunol.* 2022;12(3):53–62. <https://doi.org/10.1556/1886.2022.00015>
48. Anishya D., Jain R.K. Vanillin-mediated green-synthesised silver nanoparticles' characterisation and antimicrobial activity: An in-vitro study. *Cureus.* 2024;16(1):e51659. <https://doi.org/10.7759/cureus.51659>
49. Ahmed M.Kh., Alsaleem N.R., AlSamak S. The effect of vanillin nanoparticles on antimicrobial and mechanical

- properties of an orthodontic adhesive. *J Orthod Sci.* 2023;12(1):46. https://doi.org/10.4103/jos.jos_124_22
50. Sawong S., Pekthong D., Suknoppakit P., Winitchaikul T., Kaewkong W., Somran J. et al. Calotropis gigantea stem bark extracts inhibit liver cancer induced by diethylnitrosamine. *Sci Rep.* 2022;12(1):12151. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16321-0>
51. Chaisupasakul P., Pekthong D., Wangteeraprasert A., Kaewkong W., Somran J., Kaewpaeng N. et al. Combination of ethyl acetate fraction from *Calotropis gigantea* stem bark and sorafenib induces apoptosis in HepG2 cells. *PLoS ONE.* 2024;19(3):e0300051. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300051>
52. Sharma M., Tandon S., Aggarwal V., Bhat K.G., Kappadi D., Chandrashekhara P., Dorwal R. Evaluation of antibacterial activity of *Calotropis gigantea* against *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus acidophilus*: An in vitro comparative study. *J Conserv Dent.* 2015;18(6):457–460. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.168809>
53. Ravuru D., Vivek Reddy G., Bhupathi A., Sunil Kumar K.T., Singaraju G.S., Mandava P. Evaluation of antimicrobial properties and shear bond strength of conventional orthodontic adhesive modified with calotropis gigantea nanoparticles: An in vitro study. *Cureus.* 2023;15(12):e51182. <https://doi.org/10.7759/cureus.51182>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хаян Алмокаддам – аспирант кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН); 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6; <https://orcid.org/0000-0002-5131-8401>

Тутуров Николай Станиславович – к.м.н., доцент, заведующий кафедрой стоматологии детского возраста и ортодонтии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН); 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6; <https://orcid.org/0000-0001-8048-5703>

Катбех Имад – к.м.н., старший преподаватель кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН); 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6; <https://orcid.org/0000-0002-4591-7694>

Салех Ахмад – ординатор кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН); 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6; <https://orcid.org/0000-0002-9597-3109>

Ибрахим Ибрахим – аспирант кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН); 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Hayan Almokaddam – Postgraduate Student of the Department of Dentistry Pediatric Dentistry and Orthodontics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Medical Institute, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-5131-8401>

Nikolay S. Tuturov – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Medical Institute, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-8048-5703>

Imad Katbeh – Cand. Sci. (Med.), Senior Lecturer at the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Medical Institute, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-4591-7694>

Ahmad Saleh – Resident of the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Medical Institute, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-9597-3109>

Ibrahim Ibrahim – Postgraduate Student of the Department of Dentistry Pediatric Dentistry and Orthodontics, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Medical Institute, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation

ВКЛАД АВТОРОВ

Х. Алмокаддам – разработка концепции исследования, поиск научных статей, обработка материала, анализ полученных данных, написание статьи.

Н.С. Тутуров – разработка концепции исследования, подготовка статьи.

И. Катбех – обработка данных, написание текста.

А. Салех – перевод информации, написание текста.

И. Ибрахим – написание текста.

AUTHOR'S CONTRIBUTION

Hayan Almokaddam – concept of research, data processing collection and processing of materials, writing text.

Nikolay S. Tuturov – concept of research, manuscript preparation.

Imad Katbeh – data processing of materials, writing text.

Ahmad Saleh – translation of information, writing text.

Ibrahim Ibrahim – writing text.